Aus der Universitätsaugenklinik zu Rostock.

Die elektrische Leitfähigkeit des Humor aqueus.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

medizinischen Fakultät der Landes-Universität Rostock

vorgelegt von

Richard Kiewerth
aus Rostock.

Rostock
H. Winterberg's Buchdruckerei.
Ostern 1904.

1.

Von der genauen Untersuchung einer physiologischen oder pathologischen Körperflüssigkeit wird verlangt, dass sie uns neben präzisen Angaben über die Menge, den Grad der Durchsichtigkeit, den Geruch, die Dünn- oder Dickflüssigkeit, die Reaktion, die körperlichen Bestandteile und schliesslich das spezifische Gewicht eine Analyse der Bestandteile gibt. Aus dem spezifischen Gewichte einer Körperflüssigkeit allein sind zwar oft schon wichtige Schlüsse auf ihre Zusammensetzung zu ziehen. Um jedoch eine Vorstellung von der Art einer Flüssigkeit zu haben und um aus der Art wieder andere Schlüsse, z. B. auf ihre Entstehung, ziehen zu können, ist vor allen Dingen vorerst eine genaue Analyse ihrer Bestandteile vorzunehmen. Die chemische Analyse giebt Aufschluss über die Masse und Beschaffenheit der die Flüssigkeit zusammensetzenden Substanzen; sie giebt in Grammen die Menge des Wassers und der in der Flüssigkeit befindlichen chemischen Verbindungen.

Die chemische Analyse stösst nun aber, wenn derselben nur geringe Mengen zur Verfügung stehen, auf Schwierigkeiten, die nicht unbeträchtliche Fehlerquellen bedingen. So sind z. B. die Messgefässe und Wagen zur Zeit noch nicht so ideal konstruierbar, dass sie bei minimal kleinen Mengen die Sicherheit der Resultate gewähren, die für Untersuchungen von Körperflüssigkeiten erwünscht sind. Bei der Analyse der anorganischen Bestandteile, die durch Veraschung vorgenommen wird, wirkt ausserdem der Umstand störend, dass proportional der Abnahme an Substanz-

menge die Verdampfung derselben grösser wird. Die in der geringen Menge der analysierbaren Substanz gelegenen Fehlerquellen sind nun zu vermeiden durch eine Untersuchung, die es gestattet, auf den Gehalt einer Flüssigkeit an löslichen Stoffen wichtige Schlüsse zu ziehen; es ist das die Bestimmung des osmotischen Druckes, die in der Physik und Chemie schon lange angewandt und besonders durch H. J. Hamburger[1] für die medizinische Forschung nutzbar gemacht worden ist.

Bevor ich dazu übergehe, mich mit meinem eigentlichen Thema zu beschäftigen, sei es mir gestattet, kurz auf die theoretischen Grundlagen der physikalischen Chemie einzugehen.

Befindet sich in absolut reinem Wasser ein löslicher Körper, z. B. Rohrzucker in Lösung, so zerfällt dieser Körper in seine Moleküle, die sich gleichmässig im Wasser verbreiten. Nach dem Gesetze von van't Hoff verhalten sich nun diese Moleküle wie diejenigen eines Gases und es sind auf die gelöste Substanz diejenigen Gesetze anzuwenden, die für die Gase gelten. Wie die Moleküle eines in einem Gefässe eingeschlossenen Gases auf die Gefässwandung einen gewissen Druck ausüben, so geschieht das in derselben Weise auch von den Molekülen einer in Lösung vorhandenen Substanz. Diesen Druck nennt man den osmotischen Druck der Lösung. Lösungen, die denselben osmotischen Druck besitzen, nennt man isotonisch. Zwei isotonische Lösungen, die durch eine semipermeable Membran, d. h. eine wohl für das Lösungs-, nicht für das gelöste Mittel durchgängige Membran getrennt sind, halten sich das osmotische Gleichgewicht, d. h. üben keinen Einfluss aufeinander aus. Bringt man jedoch eine pflanzliche oder tierische Zelle, d. i. eine von einer semipermeablen Membran umgebene Lösung, das eine Mal in Wasser, ein anderes Mal in eine konzentrierte Salz (Na Cl) lösung, so wird die Zelle in ersterem Falle Wasser aufnehmen und dadurch quellen, im zweiten Falle Wasser abgeben und dadurch schrumpfen

[1]) Osmotischer Druck und Jonenlehre in den medizinischen Wissenschaften. Dr. chem. et med. H. J. Hamburger. 1902.

Es sind das rein physikalische Vorgänge. Der Zelleninhalt will der ausserhalb der Zelle befindlichen Lösung isotonisch werden, indem er im ersten Falle durch Wasseraufnahme seine Konzentration zu vermindern versucht, im zweiten Falle durch Wasserabgabe seine Konzentration derjenigen der umgebenden Salzlösung gleichmacht. — Das Avogadrosche Geseiz besagt: Bei gleicher Spannung und gleicher Temperatur enthalten gleiche Volumina verschiedener Gase die gleiche Molekülzahl. Auf die gelöste Substanz angewandt wird das Gesetz lauten: Bei gleichem osmotischen Druck und gleicher Temperatur enthalten gleiche Volumina verschiedener Lösungen gleich viel Moleküle. Dieses Gesetz hat sich auch bewährt, jedoch mit einigen Einschränkungen, wie an einigen Beispielen gezeigt werden soll: Eine Rohrzuckerlösung und eine Traubenzuckerlösung sind, wie aus dem Gesagten hervorgeht isotonisch, wenn sie auf eine Zelle die Wirkung haben, dass sie dieselbe soeben zu minimaler Schrumpfung (Plasmolyse) veranlassen. Es werden 2 solcher Lösungen hergestellt und es findet sich, dass die Rohrzuckerlösung 6,84 %ig, die Traubenzuckerlösung 3,6 %ig ist. Die Menge des gelösten Rohrzuckers zu der des gelösten Traubenzuckers verhält sich also wie 6,84 : 3,6 oder wie 342 : 180 oder wie die Molekulargewichte.

Es finden sich also gleich viele Moleküle in demselben Volumen der Lösung, also eine Bestätigung des auf Lösungen angewandten Avogadro'schen Gesetzes. Nun hat sich aber herausgestellt, dass dieses Gesetz nur für Stoffe derselben Gruppe gilt, also z. B. Rohrzucker, Milchzucker, Traubenzucker, oder die Alkalisalze einbasischer Säuren, oder die Alkalisalze zweibasischer Säuren, dass zwischen Stoffen aus verschiedenen Gruppen aber einfache Beziehungen bestehen. So hat man z. B. gefunden, dass bei gleichem osmotischen Drucke einer Rohrzucker- und einer Na Cl-Lösung die Rohrzuckerlösung bedeutend ($^1/_3$) mehr Grammmoleküle, also auch Moleküle, enthält, als die Na Cl-Lösung von gleicher Grammmolekül- (also auch Molekül-) zahl.

Auch umgekehrt ist gefunden worden, dass sich Lösungen von gleich vielen Grammmolekülen NaCl und Rohrzucker in gleichen Mengen Wassers in Bezug auf den osmotischen Druck derart unterscheiden, dass derselbe bei der NaCl-Lösung ($^1/_3$mal) grösser ist, als bei der Rohrzuckerlösung. Für diese Erscheinung hat Arrhenius folgende Erklärung gefunden: Während in der Rohrzuckerlösung die Moleküle einen ihrer Anzahl entsprechenden osmotischen Druck ausüben, zerfallen (dissociieren sich) in der NaCl-Lösung schon durch den Prozess der Lösung eine bestimmte Anzahl von Molekülen in sog. Jonen, die sich jedes einzelne in derselben Weise, wie ein Rohrzucker- oder nicht dissoziiertes NaCl-molekül an der Ausübung des osmotischen Druckes beteiligen. Diejenigen Körper, die dissoziierbar sind, deren Moleküle sich teilweise in Lösung spalten, nennt Arrhenius aus einem später zu besprechenden Grunde Elektrolyte, die andern Nicht-Elektrolyte. Elektrolyte sind: Salze, Säuren, Basen; Nichtelektrolyte: Rohrzucker, Harnstoff und viele andere organische Verbindungen. Je stärker die Lösung eines Elektrolyten verdünnt wird, desto grösser wird die Dissociation, so dass man schliesslich bei sehr stark verdünnten Lösungen ohne Fehler annehmen darf, dass alle Moleküle der Lösung dissociiert, ionisiert sind. Sehr interessant und für meine Abhandlung von Wichtigkeit sind weitere Beziehungen der Jonen. Wie an der Erhöhung des osmotischen Druckes sind sie auch an der Erhöhung des Gefrierpunktes in gleicher Stärke, wie die nicht dissoziierten und nicht dissoziierbaren Moleküle beteiligt. Bei Nichtelektrolyten, z. B. Rohrzucker, findet, wenn man ein Grammmolekül in einem Liter Wasser auflöst, eine empirisch gefundene Gefrierpunktserniedrigung der Lösung von 1,85° C. statt. Ein Grammmolekül eines Elektrolyten, in Wasser aufgelöst, bewirkt jedoch eine höhere Gefrierpunktserniedrigung, und zwar desto höher, je grösser die Dissoziation ist.

Ein dritter Vorgang, an dem sich aber nur die Jonen, nicht die Moleküle, beteiligen, ist die elektrische Leitfähigkeit.

Jonisierbare Körper leiten den Strom und haben auch daher den Namen Elektrolyte. Sie leiten den Strom vermöge ihres Gehaltes an Jonen, und zwar desto besser, in je grösserer Anzahl diese vorhanden sind. Der Vorgang ist in folgender Weise zu denken: In einer wässrigen Na Cl-Lösung spalten sich einige Moleküle, allein durch den Vorgang der Lösung, in Jonen (Wanderer), und zwar elektropositive Na-, elektronegative Cl-Jonen, die bei ihrer Wanderung zu den entgegengesetzten Elektroden den Strom leiten. Die nicht ionisierten Moleküle sind bei diesem Vorgange nicht, wie bei dem osmotischen Druck und der Gefrierspunkterniedrigung, tätig, sondern „inaktiv".

Hiermit habe ich die Lehre vom osmotischem Druck und die Jonentheorie soweit behandelt, wie es mir zum leichten Verständniss des Folgendem nötig erscheint, und gehe jetzt zu dem eigentlichen Objekte meiner Abhandlung, dem Humor aqueus, über.

2.

Der Humor aqueus ist eine durchsichtige, geruchlose, wässrige, keine körperlichen Bestandteile enthaltende Flüssigkeit von alkalischer Reaktion, dem Brechungsindex 1,337 für Linie D bei 12° C. Die Menge desselben beträgt beim Menschen 0,24—0,4 ccm, beim Kaninchen 0,3 ccm. Schon über das spezifische Gewicht herrschen recht beträchtliche Differenzen. Für das menschliche Kammerwasser schwanken die Angaben zwischen 1,0034 und 1,0050, Zahlen, die den spezifischen Gewichten des Humor aqueus von Tieren gegenüber recht niedrige sind. Für Hunde, Katzen, Kaninchen gibt Golovin[1] Werte zwischen 1,0086 und 1,0088, für den Ochsen Michel[2] und Wagner[3] 1,0076—1,0086. Eine Erklärung für das Schwanken dieser

[1]) Untersuchungen über das spezifische Gewicht des Kammerwassers. v. Graefe's Archiv f. Ophthalmol. XLIX 1900.

[2] und [3]) Physiologisch-chemische Untersuchungen des Auges. Michel und Wagner. v. Graefe's Archiv f. Ophthalm. XXXII 2. 1886.

Werte glaube ich durch meine Beobachtungen darin gefunden zu haben, dass bei Entnahme des Kammerwassers beim lebenden Tiere allein durch das grössere oder geringere Trauma der Punktion und durch die infolge der Punktion in der vorderen Kammer gesetzte Druckerniedrigung eine augenblicklich eintretende mehr oder minder grosse, nicht unbeträchtliche Eiweissausscheidung stattfindet. Auch beim soeben getöteten Tiere ist, wie ich beim Hammel und Ochsen beobachtet habe, der Gehalt des Humor aqueus an Eiweiss nicht unbeträchtlich und grossen Schwankungen unterworfen. Zwei von Troncoso[1] für den menschlichen Humor aqueus angegebene spez. Gewichtsbestimmungen von 1,012 und 1,0075 glaube ich aus dem eben angeführten Grunde nicht berücksichtigen zu brauchen, da in beiden Fällen das Kammerwasser von Augen mit Hornhautfremdkörpern entnommen wurde. Dass die Angaben in Bezug auf die Menge der festen Bestandteile insgesamt noch mehr schwanken, als die des spezifischen Gewichtes, nimmt nicht wunder, da neben den schwankenden Eiweissmengen bei der quantitativen Analyse auch die geringe Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit recht beträchtliche Fehler mit sich bringt. Der Gehalt des frischen menschlichen Humor aqueus an festen Bestandteilen beträgt nach Kletzinsky 0,82 %, nach Villasenor 1,197 %. Beim Rinde sind nach Leber[2] von den verschiedenen Autoren folgende Werte angegeben:

1,17 % Frerichs,
1,223 % Cohn,
1,29 % Michel-Wagner,
1,313 % Lohmeyer,

---

[1]) Pathogenie du glaucome. Ann. d. Ocul. CXXVI.

[2]) Die Zirkulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges. Prof. Th. Leber, Heidelberg. Handbuch der gesamten Augenheilkunde v. Graefe-Saemisch. 52.—58. Lieferung.

1,97 % Berzelius,
2,06 % Schneyder.

Was nun die genauere chemische Analyse anlangt, so enthält das Kammerwasser in der Hauptsache anorganische Salze, von denen das Chlornatrium in überwiegender Menge vorhanden ist. Daneben finden sich Natriumcarbonat, Chlorkalium, schwefelsaure und phosphorsaure Alkalien und Erden. Die Angaben der einzelnen Autoren über die anorganischen Salze schwanken in bedeutend geringeren Grenzen, als diejenigen über den Gesamtgehalt an festen Substanzen, ein Umstand der dadurch seine Erklärung findet, dass bei diesen Untersuchungen der schwankende Eiweissgehalt nicht störend wirkt und die alleinige Fehlerquelle in der geringen Menge der analysierbaren Flüssigkeit zu suchen ist. Diese Fehlerquelle wird noch geringer, wenn, wie dies von Peters[1] gemacht worden ist, das Kammerwasser mehrerer Tiere der gleichen Art gemeinsam untersucht und dadurch die Menge der zur Analyse verfügbaren Flüssigkeit eine grössere wird. Die für die Feststellung anorganischer Substanz gegebene Methode ist die der Veraschung. Die Angaben über die Gesamtmenge an organischer Substanz schwanken nach Leber[2] zwischen 0,84 % und 0,99 %. Hiervon macht das Na Cl 0,69—0,77 % aus. Neben den anorganischen Bestandteilen enthält das Kammerwasser von organischen Stoffen in geringen Mengen Zucker, Harnstoff, Paramilchsäure, ein sacharifizierendes Enzym und in sehr schwankenden Mengen Eiweiss: Serumalbumin und Serumglobulin.

Bis vor kurzem hatte die chemische Zusammensetzung des Kammerwassers nur rein theoretisch wissenschaftliches Interesse. Von praktischer Bedeutung wurde sie erst in neuerer Zeit, seitdem einerseits Uribe-Troncoso[3] darauf aufmerksam gemacht hat, dass bei Glaukom die Eiweissmenge des Humor aqueus ver-

[1]) Weitere Beiträge zur Pathologie der Linse. Klinische Monatblätter für Augenheilkunde 1904.

[2]) l. c. S. 10. Anmerk. 2.

[3]) Annales d'oculistique. Dezember 1901.

mehrt ist, andererseits Peters[1] in seiner Arbeit. „Weitere Beiträge zur Pathologie der Linse" darauf hingewiesen hat, dass bei der Naphthalinvergiftung des Kaninchens die Salze des Kammerwassers vermehrt sind. Diese Tatsache ist für die Lehre von der Entstehung der Cataract insofern von Bedeutung, als durch die höhere Konzentration, wie Peters ebenfalls in der eben zitierten Arbeit bewiesen hat, das osmotische Verhältnis zwischen Linse und Humor aqueus eine recht beträchtliche Verschiebung erleidet und dadurch die Linsenernährung, bei der nach neueren Forschungen[2] die Osmose eine grosse Rolle spielt, sehr stark beeinträchtigt werden muss.

Da, wie vorher dargetan wurde und wie auch die so verschiedenen Angaben der einzelnen Autoren zeigen, der Veraschung, der gewöhnlichen Methode der Konzentrationsbestimmung, grosse Mängel in Bezug auf ihre Genauigkeit anhaften, da ferner diese Methode bei den geringen Konzentrationsunterschieden erst recht wenig versprach, hat Peters mit dem nachher zu beschreibenden Apparate die elektrische Leitfähigkeit des Humor aqueus und dadurch indirekt Konzentrationsunterschiede bestimmt. Es besitzt diese Methode der Veraschung und den anderen im Folgenden erwähnten Methoden gegenüber den grossen Vorzug, dass sie auch bei nur geringer Flüssigkeitsmenge genaue Resultate gibt. Allerdings gibt sie nur Aufschluss über die Zahl der in der Flüssigkeit vorhandenen Elektrolyte, nicht über die der Gesamtmoleküle. Wollte man diese bestimmen, so müsste man sich der von Kunst[3] bereits für die Untersuchung des Kammerwassers nutzbar gemachten Methode der Bestimmung der Gefrierpunktserniedrigung oder der Blutkörperchenmethode bedienen, die jedoch wesentlich grössere Flüssigkeitsmengen voraussetzen, welche nur

---

[1]) Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde. 1901.

[2]) Studi intorno alla cataratta artefic. I u. II.
Manca e Ovio.
Archivio di Ottalm. 1896 u. 1898.

[3]) Beiträge zur Kenntnis der Farbenzerstreuung und des osmotischen Druckes einiger brechender Medien des Auges.
Kunst. Inaug. dissert. Freiburg 1895.

dadurch zu erhalten sind, dass man sie mehreren Tieren entnimmt. Für die Untersuchung des Kammerwassers eines einzelnen Auges dürften diese Methoden wohl vorläufig kaum in Betracht kommen, so dass man einstweilen auf die Leitfähigkeitsbestimmung angewiesen ist.

Bei der grossen praktischen Wichtigkeit, die die Konzentrationsbestimmung des Humor aqueus in neuerer Zeit gewonnen hat, schien es von Bedeutung, die von Peters angegebene Methode nachzuprüfen und womöglich weiter auszubilden. Es war zu erhoffen, dass mit dieser Methode konstatiert werden könne, ob sich die damit gefundenen Konzentrationswerte des Humor aqueus von Tieren mit den, oben angegebenen, anderer Autoren decken würden, vor allen Dingen aber, dass man dieses Verfahren vielleicht auch auf andere Kataraktformen anwenden und dass schliesslich vielleicht die Exaktheit der Methode soweit ausgebildet werden könne, dass man die Versuche auch auf den Humor aqueus des Menschen auszudehnen imstande wäre.

Herr Professor Peters betraute mich nun damit, in diesem Sinne die Brauchbarkeit dieser Methode zu prüfen.

Bevor ich die von mir erhaltenen Resultate wiedergebe, sei es mir gestattet, eine Beschreibung des Apparats zu bringen.

3.

Die Leitfähigkeit der Lösung eines Elektrolyten verhält sich umgekehrt proportional zu dem Widerstande, den diese Lösung dem elektrischen Strome entgegensetzt. Habe ich also eine Lösung, deren Leitfähigkeit ich als 1. annehme, eine andere Lösung, deren Leitfähigkeit x ich bestimmen möchte, so ergibt sich, wenn ich W, den Widerstand der Lösung von der Leitfähigkeit 1, Wx denjenigen der Lösung von der Leitfähigkeit x nenne, die Gleichung:

$$x : 1 = W : Wx$$

$$x = \frac{1 \cdot W}{Wx}$$

Ich vermag also aus den Widerständen W u. Wx das Leitvermögen leicht zu berechnen. Ein Erfordernis ist, dass bei der vergleichenden Widerstandsmessung der Zylinder der zu vergleichenden Lösungen, durch den der Strom geleitet wird, konstant bleibt. Zu diesem Zwecke hat Peters,[1] der diese Methode zuerst in der Ophthalmologie angewandt hat, ein sog. Widerstandsgefäss angegeben, das folgende Konstruktion zeigt: (Fig. 1). In einem reagensglasartigen Gefässchen befindet sich unten eine in horizontaler Lage eingeschmolzene Platinplatte, von der aus ein Draht durch den Boden des Gefässes nach aussen führt. Über dieser Platte findet sich in der Wand des Gefässes eine Kalibrierung, die in $^1/_{100}$ ccm den Inhalt des Gefässes angibt. Das Röhrchen besitzt nun eine derartige Weite, dass Platinplatte und 10ter Teilstrich 1 cm von einander entfernt sind.

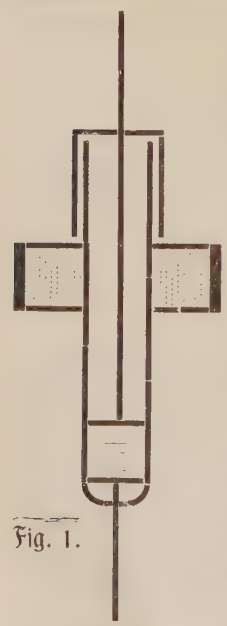

Fig. 1.

Auf dieses Gefäss passt ein anderes, entsprechend weiteres hinauf, in das ein dicker Platindraht so eingeschmolzen ist, dass eine an seinem Ende sich befindende horizontale Platinplatte genau auf den 10ten Teilstrich des ersten Gefässchens passt. Die 2te Platinplatte besitzt genau den Durchmesser der ersten. Bei dieser Anordnung der Platten befindet sich zwischen ihnen ein Raum von genau $^1/_{10}$ ccm. Da die dem Kaninchen entnommene Kammerwassermenge bei guter Technik oft nicht viel mehr, als $^1/_{10}$ ccm, beträgt, musste der Raum so klein gewählt werden. Die genaue Kalibrierung ist zwar nicht nötig, sichert jedoch durch eine bequeme Kontrole ein Gleichbleiben des zwischen den Elektroden befindlichen Flüssigkeitszylinders. Auch durch zwischen den beiden Platten befindliche Luftblasen

[1] [2]) l. c. S. 12. Anm. 1

werden die Resultate nicht wenig beeinflusst und es ist deshalb nötig, vor jeder Messung darauf zu achten, und eventuell Luftblasen durch Auf- und Abwärtsbewegen der oberen Platte oder mit einem feinen, reinen Drahte zu entfernen. — Das Prinzip der Widerstandsmessung ist das in der Physik viel angewandte, von Rohlrausch und Holborn[1] eingehend beschriebene. (Fig. 2). Das von einem beliebigen Elemente gespeiste Inductorium J. gibt einen Wechselstrom ab, der es durch die Drahtleitungen JA und JC verlässt; bei A und C wird die Leitung verzweigt in die beiden Leitungen ABC und ADC. Die Leitung ABC ist die sog. Wheatstonesche Brücke, d. i. ein über einen in mm geteilten Messstab ausgespannter Draht von 1 m Länge, der aus einem Metall besteht, das von der Luft und Temperatur möglichst wenig angegriffen wird, und der möglichst exakt gleichmässig dick gearbeitet ist. Die Leitung ADC besteht in ihrem Schenkel AD aus einem Rheostaten R, der auf verschiedene

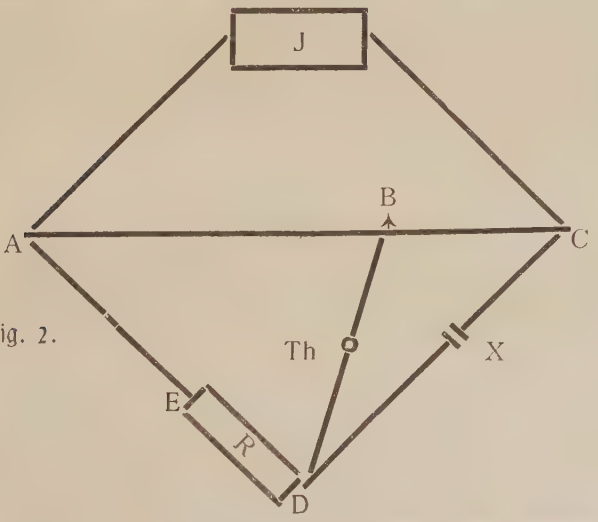

Fig. 2.

Widerstände einzustellen ist, und aus der von der Brücke zum Rheostaten führenden Leitung AE. Der andere Schenkel DC

[1]) Das Leitvermögen der Elektrolyte. Leipzig. Teubner 1898.

besteht aus dem oben beschriebenen Widerstandsgefäss x mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und den vom Rheostaten und der Brücke dahin führenden Leitungen Cx und Dx. Nun besteht in der Phxsik folgendes Gesetz: Verbindet man zwei Punkte einer Stromverzweigung mit einander durch einen Leiter und geht durch diesen kein Strom, so verhalten sich die beiden Teile der einen Stromverzweigung, wie die entsprechenden Teile der anderen. Denke ich mir also die Stromverzweigungen ABC und ADC durch BD verbunden und nehme ich an, dass durch BD kein Strom geht, so verhält sich

$$AB : BC = AD : DC.$$

Der Punkt B der Leitung BD ist durch einen sog. Schleifkontakt auf der Brücke ABC verschiebbar gemacht. Als Indikator für den durch die Leitung BD verlaufenden Wechselstrom wird ein gewöhnliches Bell'sches Hörtelephon benutzt, das den Ton des Inductoriums mehr oder weniger stark wiedergibt ganz verschwindet der Ton, auch wenn kein Strom durch BD verläuft, niemals —. Habe ich nun den Ton durch Verschieben des Schleifcontactes bei B auf ein Minimum reduziert, so darf ich folgende Gleichung aufstellen:

$$DC = \frac{BC \cdot AD.}{AB.}$$

Das Verhältnis BC : AB ist ohne weiteres von der Brücke in 3 stelligen Zahlen (mm) ablesbar. AD ist bekannt gleich dem Widerstande des Rheostaten R, wenn man den sog. Zuleitungswiderstand AE vernachlässigt, was, wie ich sogleich auseinandersetzen werde, ohne weiteres geschehen darf. Die einzige Unbekannte der Gleichung ist DC, das sich zusammensetzt aus dem Widerstande der im Gefässe x befindlichen Flüssigkeit und den beiden Zuleitungswiderständen Dx und Cx, die jedoch auch hier vernachlässigt werden dürfen. Ist Wx der Widerstand der Lösung in Gefäss x, so lautet die Gleichung in der Form, wie wir uns ihrer bedienen werden,:

$$Wx = \frac{R.\ BC}{AB} = \frac{R \cdot (1000 - AB)}{AB.}$$

Da es sich bei den von uns zu prüfenden Flüssigkeiten stets um beträchtliche Widerstände (bis 360 Ohm) handelt, darf ich, wie ich oben erwähnte, wenn ich die Zuleitungsdrähte recht kurz und dick wähle, ihren geringen Widerstand vernachlässigen, zumal diese Widerstände sich teilweise gegenseitig aufheben, da AE im Zähler, Dx und Cx im Nenner stehen. Da die Brücke in ihrer Mitte die genaueste Einstellung gestattet, empfiehlt es sich, den Rheostatenwiderstand so zu wählen, dass er ungefähr dem gesuchten gleich ist. Für meine Versuche wählte ich den Widerstand von 400 Ohm. Es lässt sich bei diesen Versuchen nur der Wechselstrom gebrauchen, weil durch einen konstanten Strom die Flüssigkeit im Widerstandsgefäss stark polarisiert würde und durch die unberechenbare Polarisation eine zuverlässige Widerstandsmessung unmöglich gemacht wäre. Sogar beim Wechselstrom würde sie sich noch recht unangenehm bemerkbar machen, wenn man nicht in der sog. Platinierung der Elektroden ein Mittel hätte, sie auf ein die Untersuchungen nicht beeinträchtigendes Minimum zu beschränken. Eine Beschreibung der Platinierung hier zu geben, würde zu weit führen; man findet sie bei Kohlrausch und Holborn,[1] „Leitvermögen der Elektrolyte." Wie nötig die Platinierung ist, möchte ich nur an einer von mir gemachten Erfahrung dartun. Bei der Übernahme der Widerstandsgefässe waren dieselben teilweise ihrer Platinierung verlustig. Während ich vor der Neuplatinierung den Schleifkontakt nur auf 2 mm genau einstellen konnte, erzielte ich nachher eine um 0,5 mm präzise Einstellung desselben.

Bevor ich nun meine Leitfähigkeitsbestimmungen selbst angebe, muss ich noch Verschiedenes erwähnen, das bei diesen Untersuchungen zu berücksichtigen ist und dessen Vernachlässigung die Versuche beeinträchtigt. Um beim Hören des Telephons nicht durch das Geräusch des Induktoriums gestört zu werden, ist es empfohlen worden, dasselbe im Nebenzimmer aufzustellen. Ich wurde jedoch, nachdem ich das-

[1]) l. c. S. 15. Anmerk. 1.

selbe durch eine mit Watte ausgepolsterte Pappschachtel verdeckt und das nicht hörende Ohr durch einen mit Gummi umwundenen Glasstab (Antiphon) verstopft hatte, durch das Geräusch des Induktoriums so wenig belässtigt, dass ich es vorzog, dasselbe in unmittelbarer Nähe zu haben, um, wenn nötig, den Ton passend zu nüancieren. Die Genauigkeit der Brückeneinstellung war nämlich eine bedeutend grössere, wenn der Ton des Induktorimus ein reiner nicht schnarrender, war, was durch eine leichte Drehung der Kontaktschraube des Wagnerschen Hammers zu erreichen war. — Besonders ist bei den Widerstandsmessungen darauf zu achten, dass die zu untersuchenden Flüssigkeiten stets bei der gleichen Temperatur auf ihren Widerstand geprüft werden. Wie wichtig das ist, zeigt folgende Tabelle:

Brückenindex	v.	0,750 %iger	NaCl-Lös.	b. 25 °C:	526,	b. 27,1 °C:	536
,,	,,	0,800	,,	,,	,,	539	,,	550
,,	,,	0,850	,,	,,	,,	552	,,	564
,,	,,	0,900	,,	,,	,,	566	,,	578
,,	,,	0,950	,,	,,	,,	579	,,	589
,,	,,	1,000	,,	,,	,,	591	,,	600

Die von mir vorgenommenen Widerstandsprüfungen sind sämtlich bei einer Temperatur von 25,0 °C ausgeführt worden. Um die Temperatur längere Zeit auf dieser Höhe zu erhalten, habe ich mich eines sog. Thermostaten bedient, der in folgender Weise eingerichtet war. Es besteht zur Hauptsache aus einem oben offenen circa 8 l. fassenden Metallgefäss, das von einem die Wärme schlecht leitenden Filzpanzer umgeben ist. Um die Temperatur des in diesem Gefässe befindlichen Wassers in den einzelnen Schichten möglist schnell gleichmässig auszubreiten, ist in demselben ein schiffsschraubenähnliches Rührwerk angebracht, dessen Welle mit einem über dem Gefässe befindlichen Fächerwerk in Verbindung steht, das nach dem Prinzip der Windmühlenflügel gebaut ist, horizontal steht und durch die von einer Gasflamme aufsteigende warme Luft bewegt wird. Unter dem Gefässe befindet sich eine Gasflamme, die sich durch einen

Toluolwärmeregulator so regulieren lässt, dass die Temperatur des in dem Gefässe befindlichen Wassers nicht über 25° C steigen kann und sich auf dieser Höhe gleichmässig hält. Die genaue Beschreibung des Toluolwärmeregulators findet sich bei Ostwald und Luther.[1] Er ist nach dem Prinzip der bei bacteriologischen Wärmeschränken gebrauchten Quecksilberwärmeregulatoren konstruiert, regelt jedoch bei weitem empfindlicher als diese, dader Ausdehnungscoefficient des Toluols ein 6mal höherer, als der des Quecksilbers ist. In dem Wasserbehälter dieses Thermostaten wird nun eine U-förmige Röhre von circa 2 cm Durchmesser (Fig. 3) so angebracht, dass die beiden Enden soeben über den Wasserspiegel hinausragen. Die U-förmige Röhre ist mit Quecksilber gefüllt, das die Wärme und Elektrizität gut leitet. Auf das eine Ende

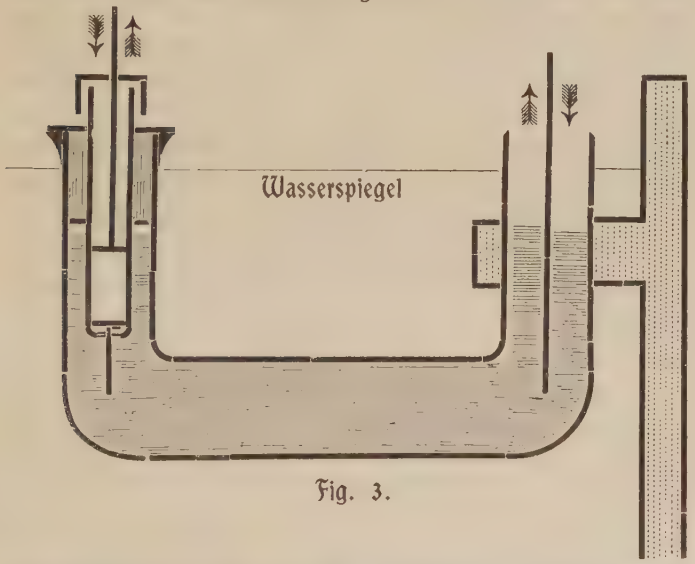

Fig. 3.

dieser Röhre wird nun das oben beschriebene, in einem durchlochten Korke angebrachte Widerstandsgefäss gesteckt, in das andere Ende wird der zuleitende Draht getaucht. Auf diese

[1]) Physikochemische Messungen. II. Auflage. 1902.

Weise wird erreicht, dass die in dem Widerstandsgefässe befindliche Flüssigkeit die Temperatur des sie umgebenen Quecksilbers annimmt, das wieder mit dem Wasser des Thermostaten gleich temperiert ist. Zwischen Einstecken des Widerstandsgefässes in die U-förmige Röhre und der Widerstandsbestimmung selbst liess ich bei meinen Versuchen mindestens 5 Minuten verstreichen, da dann die Flüssigkeit sicher die Temperatur des Thermostaten angenommen hatte, was ich aus dem Konstantbleiben des Brückenindex ersehen konnte. — Eine Fehlerquelle bei der Widerstandsmessung mittelst der angegebenen Methode ist, dass durch den hindurchgehenden Strom die Flüssigkeit erwärmt wird, wodurch, wie erst gezeigt wurde, der Brückenindex sich recht erheblich verschiebt. Es wird diese Fehlerquelle durch schnelle Untersuchung vermieden. — Im Laufe meiner Messungen nutzte sich der obere Rand des Widerstandsgefässes, das ich zuerst benutzt hatte, durch Absplitterung kleinster Glasteilchen so ab, dass ich befürchten musste, dass dadurch eine Verkürzung des zwischen den beiden Elektroden befindlichen Flüssigkeitszylinders entstehe, und gezwungen war, ein anderes Gefäss zu benutzen. Obgleich dieses genau nach den Massen des ersten gearbeitet war, gab es doch andere Werte, wie folgende von von mir bei 25,0° C gefundene Brückenindices beweisen.

Für 0,750%ige	Na Cl-Lösung Index bei Benutzung	v. Gef. I: 526,	v. Gef. II: 536,
„ 0,800 „		„ 539,	„ 549,
„ 0,850 „		„ 552,	„ 562,
„ 0,900 „		„ 566,	„ 575,
„ 0,950 „		„ 579,	„ 589,
„ 1,000 „		„ 591,	„ 601.

Es ist hiermit bewiesen, wie viel bei diesen Widerstandsmessungen auf einen genau gleich grossen Flüssigkeitszylinder zwischen den beiden Elektroden ankommt. Um die folgenden Angaben übersichtlicher und einheitlich zu machen, musste ich die bei Benutzung des Gefässes II gefundenen Zahlen

auf das zuerst benutzte Widerstandsgefäss umrechnen.[1] Noch eines Umstandes möchte ich kurz Erwähnung tun: Es wird auffallen, dass die von mir für die Temperatur von 27,1° C. angegebenen Brückenindices (conf. S. 18) mit den von Peters[2] in seiner früheren Arbeit angegebenen nicht übereinstimmen, sondern höher sind. Das hat seinen Grund darin, dass die damals benutzten Zuleitungswiderstände höhere, als die meinigen, waren. — Die im Folgenden angegebenen Zahlen sind die mittleren zwischen zwei von verschiedenen Personen ausgeführten Beobachtungen. Auf diese Weise wird die in der Beobachtung selber gelegene Fehlerquelle aufgehoben. — Vor jedem neuen Tierversuche wurde erst eine Beobachtung mit einer 1 %igen NaCl-Kontrollösung ausgeführt, um den Apparat jedesmal auf seine exakte Arbeit zu prüfen. — Zu den Punktionen wurde eine 1 ccm fassende Pravaz'sche Spritze benutzt. Die Kammerwasserproben aus dem Schlachthause wurden in kleinen reagenzglasartigen Gefässchen von 1,5 ccm Inhalt, die durch einen Korken verschlossen wurden, transportiert. Alle Gefässe und Spritzen wurden vor dem jedesmaligen Gebrauche mit destilliertem Wasser, absolutem Alkohol und Äther in peinlichster Weise gereinigt und entwässert. — Für die die Leitfähigkeit angebenden Zahlen habe ich die Leitfähigkeit einer 0,9 %igen NaCl-Lösung aus später zu erörternden Gründen als 1 angenommen.

Nach der Besprechung des Apparates komme ich jetzt zu den damit erhaltenen Daten.

---

[1]) L. c. S. 15. Anmerk. 1.
[2]) L. c. S. 12. Anmerk. 1.

4.

Bei 25,0° C. und einer Einschaltung von 400 Ohm fand ich für:

Lösung	Index a	Ohm $\frac{(1000-a) \cdot 400}{a} = W$	rel. Leitfähigk. $\frac{306,7}{w}$	Bemerkungen
0,750% Na Cl-Lösung	526,0	360,4	0,851	Die Salzlösungen sind hergestellt, indem das vorher getrocknete NaCl und Na_2CO_3, auf eine Menge von 500 ccm Wasser berechnet und auf analytischer Wage abgewogen, in destilliertem Wasser zu einer Lösung von je 500 ccm (abgemessen in geaichter Messflasche) gelöst wurde.
0,800 „	539,0	342,1	0,896	
0,850 „	552,0	324,6	0,944	
0,900 „	566,0	306,7	1,000	
0,950 „	579,0	290,8	1,054	
1,000 „	591,0	276,8	1,108	
0,750NaCl+0,050 Na_2CO_3 : 100,0 H_2O	537,5	343,9	0,891	
0,800NaCl+0,050 Na_2CO_3 : 100,0 H_2O	552,5	323,9	0,947	
0,850NaCl+0,050 Na_2CO_3 : 100,0 H_2O	565,0	307,9	0,996	
0,900NaCl+0,050 Na_2CO_3 : 100,0 H_2O	578,0	292,0	1,050	
0,950NaCl+0,050 Na_2CO_3 : 100,0 H_2O	591,5	276,2	1,110	
1,000NaCl+0,050 Na_2CO_3 : 100,0 H_2O	602,5	263,9	1,124	

Es folgen Leitfähigkeitsbestimmungen von Kaninchenkammerwasser. Der Humor aqueus wird dem cocainisierten lebenden Auge entnommen. Wo in den Bemerkungen nichts angegeben ist, handelt es sich um äusserlich und ophthalmoskopisch als normal befundene Augen. Das Naphthalin wird gelöst in erwärmten Paraffinum liquidum (4,0 ; 20,0) mit einer Spritze durch die Schlundsonde gegeben. Albinos wurden zu den Versuchen nicht benutzt, da sie sowohl auf die Vergiftung mit Naphthalin, wie auf die Punktion in zu starker Weise reagieren. Es findet sich:

Nr.	Geschlecht, Alter punkt. Auge	Zeit der Punkt.	Index	Ohm	rel. Leitfähigk.	Bemerkungen
1.	♀ ausgewachs. R.	18. 2. 04. $^3/_4$1 h	542,0	338,0	0,907	
2.	Nr. 1. L.	18. 2. 04. 1 h	542,0	338,0	0,907	
3.	♀ ausgewachs. R.	19. 2. 04. $^3/_4$11 h				Punktion ergibt zu wenig Humor.
4.	Nr. 3. L.	19. 2. 04. 11 h	542,0	338,0	0,907	Tier wird wegen Femurfraktur getötet.
5.	♂ gross. ausgw. R.	19. 2. 04. $^1/_2$12 h				Punktion ergibt zu wenig Humor.
6.	Nr. 5. L.	19. 2. 04. $^1/_4$12 h	541,5	338,6	0,906	
7.	♀ ausgewachs. weiss, kein Albino. R.	20. 2. 04. $^1/_2$12 h	547,0	331,3	0,926	19. 2. 04. $^3/_4$6 h Nm. hat das Tier 4,0 g Naphthalin erhalten.
						20. 2. 04. $^1/_2$12 h Nm.: Äusserlich u. ophthalmosk. Nihil.

Nr.	Geschlecht, Alter punkt. Auge	Zeit der Punkt.	Index	Ohm	rel. Leitfähigk.	Bemerkungen
8	Nr. 7. L.	20. 2. 04. 12 h	547,5	330,6	0,928	conf. Bem. Nr. 7.
9.	♂ ausgewachs. R.	20. 2. 04. 1/41 h	544,0	335,2	0,915	19. 2. 04. 3/46 h Nm. 4,0 g Naphthalin. 20. 2. 04. 1/2 12 Um. Bei focaler Beleuchtung des rechten Auges findet sich in der vorderen Kammer ein feines, weisses Pünktchen, das sich im Laufe der Untersuchung senkt. Sonst beiderseits ophthalmosk. und äusserl. Nihil.
10.	Nr. 9. L.	20. 2. 04. 1/2 1 h	544,0	335,2	0,915	conf. Bem. Nr. 9.
11.	♀ ausgewachs. R.	20. 2. 04. 3/4 1 h				19. 2. 04. 3/46 h Nm. 4,0 g Naphthalin. 20. 2. 04. 3/4 1 h M. Um ein an der unteren Elektrode befindliches Luftbläschen zu entfernen, wird ein feiner Draht in das Gefäss eingeführt. In diesem setzt sich ein feines, flockiges (Fibrin-) gerinnsel ab. Die Menge genügt nicht mehr.
12.	Nr. 11. L.	20. 2. 04. 1 h M.				conf. Bem. Nr. 11. Um eine unter der oberen Elektrode befindliche Blase zu entfernen, wird d. Elektrode

Nr.	Geschlecht, Alter punkt. Auge	Zeit der Punkt.	Index	Ohm	rel. Leitfähigk.	Bemerkungen
						auf- u. abbewegt, wodurch das Kammerwasser, dessen Menge soeben genügte, so schaumig wird, dass es nicht mehr verwertbar ist.
13.	♀ ausgewachs. weiss, kein Albino R.	22. 2. 04. ½12 h	553,0	323,3	0,949	20. 2. 04. 6 h Nm. 4 g Naphthalin. 21. 2. 04. Um. Äusserl. u. ophthalmosk. Nihil. 4 g Naphtalin. 22.2.04. ¼12 M. beiderseits deutlich beginnende Cataract. Humor klar.
14.	Nr. 13. L.	22. 2. 04. 12 h M.				Punktion ergibt zu wenig Humor aqueus.
15.	Nr. 5 und 6. R.	22. 2. 04. 5 h Nm.	546,5	331,9	0,924	Beiderseits punktförmige Hornhautnarbe, sonst äusserlich u. ophthalmoskopisch: Nihil.
16.	Nr. 15. L.	22. 2. 04. ¼6 h Nm.	544,0	335,2	0,915	conf. Bem. 15.
17.	Nr. 13 und 14. L.	25. 2. 04. ½10 h Nm.	553,0	323,3	0,949	conf. Bem. 13. 22., 23 u. 24. 2. 04. 6½ h Nm. je 4 g Naphtalin. Beiderseits punktförmige Hornhautnarbe, beiderseits traumatische Cataract, aequatoriale Cataract beiderseits nur gering, wie Bem. Nr. 13.

Nr.	Geschlecht, Alter punkt. Auge	Zeit der Punkt.	Index	Ohm	rel. Leitfähigk.	Bemerkungen
						Beiderseit chorioiditische Veränderungen. Rechts vordere Synechie an der Punktionsstelle. 25. 2. 04. 9 h Um. Befund wie 24. 2. 04.
18.	Nr. 17. R.	25. 2. 04. $^3/_4$10 h				Punktion ergibt zu wenig Humor. Tier † 26. 2. 04.
19.	♂ unausgew. L.	26. 2. 04. 11 h	548,5	329,3	0,931	Letzte Messung mit dem ersten Widerstandsgefäss.
20.	Nr. 19. R.	28. 2. 04. Um.				27. 2. 04. Nm. 4 g Naphtalin. 28. 2. 04. Um. Vordere Synechie und Hornhautnarbe links. Beiderseits cataracta incipiens. Punktion ergibt zuwenig Humor.
21.	♂ ausgewachs. klein R.	3. 3. 04. Nm.		332,9	0,921	Punktion gelingt gut.
22.	Nr. 21. L.	8. 3. 04. Nm.		335,6	0,914	Fixierpinzette zweimal angesetzt.
23.	♀ unausgew. klein R.	3. 3. 04. Nm.		341,1	0,899	Erst nachdem die Kanüle anfangs verstopft war, kommt Humor.
24.	Nr. 23. L.	3. 3. 04. Nm.		342,4	0,895	Kammerwasser flockig, Neigung zur Schaumbildung.
25.	♀ unausgew. klein R.	4. 3. 04. Um.		350,8	0,874	
26.	Nr. 25. L.	4. 3. 04. Um.		350,8	0,874	

Es folgen nunmehr an Hunden ausgeführte Punktionen. Nr. 1 wird in Narkose, Nr. 3, 4, 5 und 6 am kokainisierten Auge ausgeführt. Die Punktionen ergeben recht beträchtliche Mengen. Wo nichts vermerkt ist, handelt es sich um Augen, die äusserlich und ophthalmoskopisch als normal befunden wurden. Es findet sich:

Nr.	Geschlecht, Alter punkt. Auge	Zeit der Punkt.	Index	Ohm	rel. Leitfähigk.	Bemerkungen
1.	♀ L.	23. 2. 04. ½11 h	566,0	306,7	1,000	† in Narkose.
2.	Nr. 1. R.	23. 2. 04. 1¼ Stunde p. exit.	567,5	304,8	1,006	conf. Bem. Nr. 1.
3.	♂ Terrier. L.	25. 2. 04. ½11 h	550,0	327,3	0,937	
4.	Nr. 3. R.	26. 2. 04. ½11 h	539,0	442,1	0,896	25. 2. 04. 5 g Naphthalin in Oblate und Fleisch. 26. 2. 04. 10 h Tier erbricht und leidet an Speichelfluss u. Diarrhoe. Beiders. äusserl. u. ophthalmoskopisch.: Nihil. † 29. 2. 04. (an Gastroenteritis).
5.	♂ Terrier. R.	28. 2. 04. Um.		314,9	0,974	
6.	♂ R.	28. 2. 04. Um.		310,3	0,988	

Es folgen Kammerwasser-Leitfähigkeitsbestimmungen von getöteten Hammeln und Rindern. Die Punktionen wurden, von 5 bis 7 Uhr Nachmittags im Schlachthause, die Leitfähigkeitsbestimmungen von 8 Uhr Abends an in der Klinik vorgenommen Der Transport der Proben nach der Klinik fand in kleinen reagensglasähnlichen Glasgefässchen von 1,5 ccm Inhalt statt, die vor dem jedesmaligen Gebrauche, wie oben angegeben wurde.

in der peinlichsten Weise gereinigt und durch einen Kork verschlossen wurden. Die Punktionen wurden spätestens 2 Minuten nach der Betäubung des Tieres meistens nach der Eröffnung der grossen Halsgefässe vorgenommen und waren bei der Grösse der vorderen Kammer ohne Schwierigkeiten ausführbar. Die Proben Nr. 18 bis 25 wurden vor der Leitfähigkeitsbestimmung filtriert. Es wurden hierzu sog. analytische Filter verwandt, die ohne Rückstand veraschbar sind, also sicher keine Salze enthalten. Der Durchmesser der Filterchen war 2 cm und die Proben wurden ohne Benutzung eines Trichters direkt in das Widerstandsgefäss filtriert. Nr. 1 bis 7 giebt die am Hammel, Nr. 7 bis 25 die am Rinde ausgeführten Widerstandsbestimmungen. Da diese alle mit Gefäss II vorgenommen und auf Gefäss I berechnet wurden, sind die Brückenindizes ausgelassen worden. Es findet sich:

Nr.	Geschlecht, Alter punkt. Auge	Ohm	rel. Leitfähigk.	Bemerkungen
1.	Hammel R.	317,7	0,965	
2.	Nr. 1. L.	317,7	0,965	etwas Gerinnsel.
3.	Hammel L.	318,4	0,963	trübe.
4.	Hammel R.	308,8	0,993	etwas Gerinnsel.
5.	Nr. 4. L.	309,9	0,989	Im Transportröhrchen findet sich ein feines trübes, die ganze Kammerwassermenge ausfüllendes Gewebe, das beim Schütteln in Flocken zerfällt.
6.	Hammel R.	309,9	0,989	
7.	Hammel R.	326,2	0,940	viel Gerinnsel.
8.	Kuh 12 J. R.	341,1	0,899	Gerinnsel.
9.	Nr. 8. L.	333,6	0,919	klar.

Nr.	Geschlecht, Alter punkt. Auge	Ohm	rel. Leitfähigk.	Bemerkungen
10.	Stier 1¼ J. R.	333,6	0,919	
11.	Stier 1½ J. R.	339,6	0,903	
12.	Nr. 11. L.	339,6	0,903	etwas Gerinnsel.
13.	Kuh 1¼ J. R.	333,6	0,919	
14.	Stier 1¼ J. R.	338,9	0,905	
15.	Kalb ♂ 7 Wochen R.	342,4	0,895	
16.	Kuh 8—9 J. R.			Humor vollkommen mit Gerinnseln gefüllt.
17.	Nr. 16. L.			conf. Bem. 16.
18.	Kuh 12 J. R.	323,5	0,948	filtriert.
19.	Kuh 15 J. R.	331,5	0,925	„
20.	Kuh 10 J. R.	331,5	0,925	„
21.	Stier 1½ J. R.	335,6	0,914	„
22.	Stier 3 J. R.	325,4	0,942	„
23.	Stier 1½ J. R.	336,9	0,910	„
24.	Stier 3 J. R.	327,6	0,936	„
25.	Kuh 3 J R.	327,6	0,936	„

Es folgen schliesslich Versuche an Eukasinlösungen verschiedenener Konzentration, die (S. Abschn. 5) das Verhalten gelösten Eiweisses bei Leitfähigkeitsbestimmungen dartun sollen. Sie sind mit Gefäss II ausgeführt und, da sie nur untereinander verglichen werden sollen, nicht auf Gefäss I umgerechnet worden. Es wird zuerst eine Eukasinlösung 5,0 : 150,0 hergestellt und, nachdem sie 12 Stunden auf 25° C erwärmt gehalten und verschiedentlich durchgeschüttelt worden war, filtriert. Da das Eukasin (von allen Eiweisspraeparaten am wenigsten, jedoch immer noch) 0,2 % anorganische Salze enthält, wird sich in der obigen Lösung (5,0 : 750,0) circ. 0,01 gr Salz finden, in 15 gr des Filtrates also 0,001 gr. Die Lösungen b, c, d sind nun in der Weise hergestellt, dass 3,75 gr NaCl (0,75 %) und in b 15,0 ccm, in c 30,0 ccm und in d 45 ccm des Eukasinfiltrates zu einer Lösung von 500,0 ccm durch destilliertes Wasser ergänzt werden:

Lösung „a" enthält also 3,75 gr NaCl : 500,0

„ b „ 3.75 „ + 0,001 gr Salz + 1 × Eukasin : 500,0

„ c „ 3,75 „ + 0,002 „ + 2 × Eukasin : 500,0

„ d „ 3,75 „ + 0.003 „ + 3 × Eukasin : 500,0

Die Lösungen b, c, d zeigen nach d bedeutend zunehmende Opalescenz. Es fand sich für:

Lösung	a	Index :	536 Ohm	346,3
„	b	„	537 „	344,9
„	c	„	537 „	344,9
„	d	„	537.5 „	344,2

5.

Gilt es nun die in Abschnitt 4 gegebenen Daten zu Schlussfolgerungen zu verwerten, so fragt es sich, was bedeutet die für die relative Leitfähigkeit einer Kammerwasserprobe gefundene Zahl, was bedeutet z. B. die auf S. 23 Nr. 1 angegebene Zahl: 0,907. Sie besagt, theoretisch genommen, dass die Leitfähigkeit des betreffenden Kammerwassers sich zu derjenigen einer 1 %igen NaCllösung wie 0,907 zu 1,000 verhält. Wie ich nun S. 9. darlegte, verhalten sich die Leitfähigkeiten zweier Flüssigkeiten, wie die Anzahl der in ihnen enthaltenen Jonen. Ich kann also behaupten, dass die Kammerwasserprobe S. 23, Nr. 1. 0,907 mal soviel Jonen enthält, als eine 1,0 %ige NaCllösung. Diese Tatsache an sich erscheint nun für die Erforschung des Humor aqueus recht gleichgültig, doch es lassen sich aus ihr wichtige Schlüsse ziehen. Haben sich z. B. für zwei Kammerwasserproben derselben Tiergattung dieselben Leitfähigkeiten gefunden, so kann man aus der gleichen Jonenzahl den Schluss ziehen, dass sich in diesen Proben auch die gleiche Anzahl nicht dissociierter Moleküle findet, dass sie also dieselbe Konzentration zeigen, es sei denn das man annimmt, dass die Art und das Mengenverhältnis der in den Proben befindlichen Elektrolyte und Nichtelektrolyte bei derselben Tiergattung eine verschiedene sei, ein Einwand, der wohl kaum gemacht werden kann. Ebenso ist man berechtigt, auf eine Vermehrung der Konzentration zu schliessen, wenn sich für das Kammerwasser eines Tieres eine höhere relative Leitfähigkeit gefunden hat, als für dasjenige eines anderen Tieres derselben Gattung. Kann man nun aber aus dem Index 0,907 (S. 23. Nr. 1) den Schluss ziehen, dass das betreffende Kammerwasser eine Konzentration besitzt, die dem einer NaCllösung vom Leitvermögen 0,907 gleichkommt (in diesem Falle also einer circ. 0,837 %igen NaCllösung)? Das ist nicht zulässig, denn einesteils finden sich im Humor aqueus, allerdings nur in geringer Menge, Nichtelektrolyte, wie Traubenzucker und Harnstoff, die auf das Leitvermögen keinen Einfluss haben, andernteils muss die Konzentration der im

Kammerwasser vorhandenen Elektrolyte eine andere sein, als die der NaClIösung von gleichem Leitvermögen, weil die Elektrolyte des Kammerwassers, wenigstens teilweise, in anderer Weise, dissociierbar sind, als das NaCl. So zerfällt z. B. ein Molekeil $Na_2 CO_3$ in 3 Jonen, ein Molekeil NaCl dagegen nur in 2 Jonen. Allerdings ist NaCl der Hauptbestandteil des Humor aqueus, aber dennoch würden die beiden eben genannten Faktoren zu grosse Fehlerquellen abgeben, als das sich in Bezug auf die absolute Konzentration aus dem relativen Leitvermögen genaue Daten erhalten liessen.

Anmerkung: Immerhin dürfen die Fehlerquellen nicht so gross sein, dass man auf einen Vergleich mit entsprechenden Kochsalzlösungen von vorneherein gänzlich verzichten müsste. So habe ich, wie es auch damals in der Arbeit von Peters geschehen ist, auf Seite 22 eine derartige Tabelle angeführt.

Ein Umstand, der die Verwertung der in Abschnitt 4 gegebenen Daten sogar für die relative Konzentrationsbestimmung leider nicht unbeträchtlich einschränkt, ist der Gehalt der Humor aqueus an Eiweiss, der, wie ich S. 10 auseinandersetzte, wahrscheinlich auch die so grosse Differenzen in den Angaben der Autoren über das spezifische Gewicht und den Gesamtgehalt des Humor aqueus an festen Stoffen bedingt. Die Beeinträchtigung der Leitfähigklit durch das ausgefallene Fibrin ist, wie es von Peters schon 1901 ausgesprochen und von mir durch eine Anzahl von Versuchen bestätigt wurde, eine derartige, dass das flockige Fibrin zwischen den Elektroden den Flüssigkeitszylinder, durch den Strom hindurchgeht, in der Weise beeinflusst, dass dadurch zwar die Länge dieses Zylinders dieselbe bleibt, die Dicke desselben aber eine geringere wird, wodurch eine Erhöhung des Widerstandes, eine Erniedrigung der Leitfähigkeit hervorgerufen wird nach dem Gesetze, dass der Widerstand eines Leiters seiner Länge direkt, seinem Querschnitt umgekehrt proportional ist. Es verhält sich also das geronnene Eiweiss wie ein fester, den elektrischen Strom nicht leitender Körper. Den Beweis hierfür bringen die S. 28 Nr. 8 bis S. 29 Nr. 25 gebrachten Daten. Während 8 filtrierte Kammerwasserproben, die bis auf kleine vom

Filter abgeschwemmte Fäserchen klar waren, die mittlere Leitfähigkeit von 0,930 ergaben, fand sich bei 8 unfiltrierten Proben derselben Tiergattung, die mehr oder weniger flockige Gerinnsel zeigten, eine mittlere Leitfähigkeit von 0,908. Es ist also durch das geronnene Fibrin eine mittlere Leitfähigkeiterniedrigung von 0,022 bewirkt werden. — Eine derartige Beeinträchtigung der Leitfähigkeit durch ausgefallenes Eiweiss legte den Gedanken nahe, dass auch das in sog. Lösung befindliche Eiweiss und vielleicht auch die im Kammerwasser gelösten Nichtelektrolyte einen Einfluss auf das Leitvermögen haben möchten. Es ist das tatsächlich der Fall und zwar fand ich bei Hamburger[1], dass die Nichtelektrolyte insofern am Leitvermögen beteiligt seien, als sie einen verringenden Einfluss auf dasselbe ausüben, indem sie einesteils die Jonnenbewegung verzögern, andernteils die Dissociation der Elektrolyte herabsetzen. Über den Einfluss von gelöstem Eiweiss auf das Leitvermögen sind Versuche angestellt, die ergaben, dass „je 1 gr Eiweiss in 100 ccm Blutserum die elektrische Leitfähigkeit des letzteren im Mittel um etwa 2,5 % vermindert." Bedenkt man jedoch, das der Eiweissgehalt des Kammerwassers unter einigermassen normalen Verhältnissen, wie sie bei unseren Versuchen immerhin noch vorliegen, noch nicht 10 pro mille erreicht, so werden durch das gelöste Eiweiss unsere Versuche in nur unbeträchtlicher Weise beeinträchtigt worden sein. Den Beweis hierfür glaube ich auch durch die Leitfähigkeitsbestimmungen von Eukasinlösungen geführt zu haben (S. 30). Trotz des verhältnismässig stark zunehmenden Gehaltes an gelöstem Eiweiss werden die Widerstände geringer, wie das der geringen Zunahme der Salze in den Lösungen entspricht. Werden also die Wirkungen des Eiweisses und der Nichtelektrolyte des Humor aqueus auf das Leitvermögen noch einmal kurz zusammengefasst, so ergibt sich, dass ausgefallenes Eiweiss das Leitvermögen erheblich, gelöstes Eiweiss und die Nichtelektrotlyte dasselbe unerheblich verringern.

[1]) L. c. S. 6. Anm. 1.

Nachdem nun die Verwertbarkeit der in Abschnitt 4 gegebenen Daten, die leider der Fehlerquellen wegen eine recht beschränkte ist, einer Prüfung unterzogen ist, komme ich zu den Schlussfolgerungen selbst. Die S. 23 bis S. 26 gegebenen Leitfähigkeitsbestimmungen von Kaninchenkammerwasser sind durch ausgefallenes Eiweiss wohl kaum beeinträchtigt worden, da das Kammerwasser erstens dem lebenden Auge entnommen, zweitens kurz nach der Entnahme geprüft wurde, Umstände, deren erster für eine an und für sich geringe Eiweissmenge spricht, deren zweiter vermuten lässt, dass noch keine Fällung stattgefunden hat. Vernachlässigt man nun die in dem Vorhandensein der Nichtelektrolyte und des gelösten Eiweisses eingeschlossenen Fehlerquellen, was nach obiger Auseinandersetzung gestattet ist, so findet sich als mittlerer Wert der Kammerwasserleitfähigkeit gesunder Tiere (Nr. 1, 2, 4, 6,) 0,907, naphtalinvergifteter Tiere (Nr. 7, 8, 9, 10, 13) 0,925, also bei den vergifteten Tieren ein Mehrwert von 0,018. Daraus ist nach den S. 31 gegebenen Erwägungen der Schluss zu ziehen, das der Humor aqueus naphtalinvergifteter Tiere konzentrierter, als der gesunder Tiere ist. Die Konzentrationszunahme quantitatio anzugeben geht nach den S. 31 gemachten Angaben nicht an. Würde nun der Einwurf gemacht, dass das Kammerwasser vergifteter Tiere durch grösseren Eiweissgehalt, sei es in gelöster, sei es in ausgefallener Form, vielleicht die Versuche beeinträchtigt hätte, so wäre zu erwidern, dass in diesem Falle die grössere Konzentration des Humor aqueus um so mehr zu Recht bestehen würde, da durch Eiweiss, wie oben bewiesen wurde, die Leitfähigkeit eine geringere, nicht aber höhere wird.

Anmerkung: Den Wert S. 26 Nr. 19 habe ich unberücksichtigt gelassen, da er durch die letzte Messung mit Gefäss I erzielt war, das mir nicht mehr in einwandsfreiem Zustande zu sein schien. Auch die Daten S. 26 Nr. 21—26 habe ich nicht verwertet, da sie von noch jungen Tieren erhalten wurden. Sie würden im Mittel einen Leitfähigkeitswert von 0,896 geben, also auf eine geringere Konzentration des Humor aqueus unausgewachsener Kaninchen hinweisen.

Eine Bestätigung der durch Leittähigkeitsprüfung von Peters und nun auch von mir gefundenen Tatsache, dass der Humor aqueus des naphtalinvergifteten Tieres eonzentrierter als der des normalen Tieres sei, geben durch chemische Analysen gewonnene Zahlen, die Herr Professor Peters[1] mir gütigst zur Verfügung stellte: Von je 6 Augen gesunder Kaninchen wurden 4 Veraschungen vorgenommen und es fand sich an anorganischer Substanz:

I. 0,85 %
II. 0,81 %
III. 0,76 %
IV. 0,835 %
} im Mittel 0,814 %

Hierauf wurden von je 6 Augen naphthalinvergifteter Kaninchen derselben Grösse und desselben Alters 4 Veraschungen ausführt, die an anorganischer Substanz ergaben:

I. 0,844 %
II. 0,864 %
III. 0,844 %
IV. 0,920 %
} im Mittel 0,868 %

Aus diesen Versuchen resultiert eine völlige Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Leitfähigkeitsbestimmungen, sodass nunmehr die Tatsache der Zunahme des Salzgehaltes des Kammerwassers bei der Naphthalinvergiftung genügend sicher gestellt sein dürfte.

Fahre ich nun mit den aus meinen Daten gezogenen Schlussfolgerungen fort, so legen die S. 24 Nr. 9, 11 und 12 angegebenen Befunde den Gedanken recht nahe, dass im Humor aqueus naphtalinvergifteter Tiere auch der Gehalt an Eiweiss vermehrt sei, denn bei normalem Kaninchenkammerwasser sind niemals Praecipitate, Fibrinflocken und Schaumigwerden beobachtet worden. Auch kann ein Trauma in diesen 3 Fällen die Eiweissmenge kaum erhöht haben, da die Punktion am lebenden Auge ausgeführt wurde und ohne Schwierigkeiten verlief. Sollte es wirklich der Fall sein, dass auch das Eiweiss im Humor aqueus

[1]) l. c. S. 11. Anmerk. 1.

naphthalinvergifteter Tiere vermehrt ist, so würde hierdurch ein grosser Teil der Salzzunahme noch verdeckt worden sein, ein Umstand, der auch dadurch bestätigt wird, dass die Analysen S. 35 eine bedeutend grössere Salzzunahme zeigen, als ich das aus der Zunahme der Leitfähigkeitszahlen annehmen durfte. —

Vergleicht man die S. 23 Nr. 5 und 6, S. 25 Nr. 15 und 16 gegebenen Daten, so erhellt daraus, dass das nach vorheriger Ablassung neu abgesonderte Kammerwasser noch nach 3 Tagen, wo nach Leber[1] der vermehrte Eiweissgehalt schon lange verschwunden ist, eine vermehrte Salzkonzentration zeigt. —

Die Versuche an Hunden S. 27 ergaben keine einheitlichen Resultate. Es scheinen hier das Alter, die Rasse und ein höherschwankender Eiweissgehalt auf die Gleichmässigkeit der Leitfähigkeit einen recht verwirrenden Einfluss ausgeübt zu haben. —

Die am Humor aqueus von Hammeln und Rindern ausgeführten Leitfähigkeitsbestimmungen konnte ich aus den S. 31 angeführten Gründen für die quantitative Bestimmung des Salzgehaltes nicht verwerten und nur zu Betrachtungen über die Verwertbarkeit der anderen Daten ausnutzen.

Fassen wir nun das Urteil über die Brauchbarkeit der Metode der Leitfähigkeitsbestimmung für Kammerwasseruntersuchungen kurz zusammen, so ergiebt sich, dass sie sehr wohl geeignet ist, Konzentrationsunterschiede des Humor aqueus nachzuweisen. Ergiebt eine Reihe von Versuchen an normalen Augen derselben Tiergattung höhere Leitungswiderstände, als das Kammerwasser naphthalinvergifteter Tiere, wie es sich bei den Untersuchungen von Peters und mir herausgestellt hat, so ist der Schluss auf eine Konzentrationszunahme infolge der Vergiftung sicherlich gestattet. Für die Bestimmung der Kammerwasserzusammensetzung überhaupt, etwa zum Vergleiche mit den durch chemische Analysen festgestellten Zahlen, ist diese Metode aus verschiedenen Gründen jedoch nicht brauchbar, vor allem deshalb, weil das Leitvermögen durch den Eiweissgehalt stark beein-

[1]) L. c. S. 10. Anm. 2.

trächtigt wird und letzterer beim frisch getöteten Tiere erheblichen Schwankungen unterliegt.

Auf der anderen Seite dürfte es keinem Zweifel unterliegen, dass diese Methode bei einer grösseren Reihe von Untersuchungen des Humor aqueus kataraktöser Menschenaugen brauchbare Resultate zu liefern im Stande wäre. Bevor man jedoch an diese Aufgabe herangeht, ist es zunächst erforderlich, an einer Reihe von normalen menschlichen Augen Leitfähigkeitsbestimmungen auszuführen, was aber wegen der Schwierigkeit der Beschaffung des erforderlichen Materials nicht so einfach ist. Denn wenn man auch die Entnahme des Kammerwassers bei kataraktösen Menschenaugen damit motivieren kann, dass daraus eine Beschleunigung der Reifung resultiert, so wird man andererseits nur selten in der Lage sein, normales Kammerwasser zu erhalten. Dazu ist der Eingriff der Punktion mit der Pravazschen Spritze doch wohl nicht gefahrlos genug, um ihn lediglich zu Versuchszwecken zu rechtfertigen. So würde man auf die Fälle von beginnenden intraocularen Tumoren oder Optikusatrophieen angewiesen sein.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Peters, für die Anregung zu dieser Arbeit und die liebenswürdige Überlassung des Materials meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Am 9. August 1880 wurde ich zu Rostock i. M. als Sohn des Apothekers Dr. R. Niewerth geboren. Das Gymnasium besuchte ich in meiner Vaterstadt und bestand dort Ostern 1899 das Abiturientenexamen. Ich studierte in Heidelberg und Leipzig ein, in Kiel zwei Semester. Hier bestand ich das Tentamen physikum. Hierauf studierte ich in Berlin ein, in Rostock fünf Semester und bestand in Rostock am 22. Dezember 1903 das Staatsexamen. Am 23. Dezember bestand ich das Examen rigorosum. Die Approbation als Arzt erhielt ich am 19. Januar 1904.

Inhalt.

Seite

1. Gesichtspunkte, nach denen eine Körperflüssigkeit untersucht wird, mit besonderer Berücksichtigung des osmotischen Druckes und der Jonenlehre 5
2. Diese Gesichtspunkte, angewandt auf den Humor aqueus 9
3. Apparat zur Messung der Leitfähigkeit des Humor aqueus 13
4. Die mit diesem Apparate erhaltenen Daten 22
5. Schlussfolgerungen 31